

論文 Article

塗布面の状態および塗布方向がシラン系表面含浸材の
表面保護効果に及ぼす影響

原稿受付 2015年5月6日

ものづくり大学紀要 第6号 (2015) 29~36

石渡翔太^{*1}, 大塚秀三^{*2}, 八木修^{*3}, 中田善久^{*4}, 荒巻卓見^{*5}^{*1} ものづくり大学大学院 ものづくり学研究科 ものづくり学専攻^{*2} ものづくり大学 技能工芸学部 建設学科^{*3} 株式会社 M&M トレーディング^{*4} 日本大学 理工学部 建築学科^{*5} 日本大学大学院 理工学研究科 建築学専攻

(ものづくり大学大学院 ものづくり学研究科 ものづくり学専攻 修了)

Effects of Surface Property of Mortar and Treatment Direction of Silane on Its
Surface Protection Ability^{*1} Graduate Student, Graduate School of Technologists, Institute of Technologists^{*2} Dept. of Building Technologists, Institute of Technologists^{*3} M&M Trading Inc,^{*4} Dept. of Architecture, College of Science and Technology, Nihon University^{*5} Graduate Student, Doctor's Degree Course, Graduate School of Science and Technology, Nihon University
(Graduate, Graduate School of Technologists, Institute of Technologists)

Abstract

Effects of a surface property of a mortar and a treatment direction of a silane penetrant on its surface protection ability were investigated. The property of three contact surfaces was characterized by using with prefinished plywood, plywood for a general use and a steel form, and two other surfaces were leveling and cut ones. Two treatment directions were horizontal and vertical ones. The abilities were examined by means of a penetrating depth, water permeability, and chloride-ion penetration prescribed by JSCE-K571-2004. As for the value of the penetrating depth and the water permeability, the order was as follows; the surfaces of three forms > the leveling one. As for the chloride-ion penetration, on the other hand, the cut surface was the deepest. The penetration of the upper part of the vertical surface was the deepest as compared to other parts in all the examination.

Key Words : Silane, Surface Property, Treatment Direction, Penetrating Depth, Water Permeability, Chloride-ion Penetration

1. はじめに

表面含浸材は、コンクリート表面に含浸することで、コンクリートの表層部に物質移動抵抗性を付与する材料である。表面含浸材には、シリコン系、非シリコン系および混合系の3種類があり、市販品のおよそ半数がシリコン系¹⁾のシラン系

表面含浸材である。

シラン系表面含浸材の表面保護効果の評価手法として、JSCE-K571-2004²⁾を用いるケースが多い。JSCE-K571-2004²⁾は、モルタル供試体またはコンクリート供試体の切断面へ水平方向にシラン系表面含浸材を塗布する評価手法である。一方、実構造物における塗布面には、鉛直面および水平面がある。

鉛直面は、壁面に代表されるせき板と接触する面であり、せき板の種類によってコンクリート表面の形成状態(以下、塗布面の状態とする)が異なる。また、水平面は一般にはせき板と接触せず、こてにより均す面となる。これにより、塗布面の状態に加え、鉛直面または水平面などの塗布方向がシラン系表面含浸材の表面保護効果へ影響を及ぼすと考えられ、供試体の切断面を対象とした JSCE-K571-2004²⁾ による評価と実構造物の塗布面の性能が相違する可能性がある。しかしながら、既往の研究において、実構造物へ塗布した場合の性状について検討された例³⁾はあるものの、塗布面の状態および塗布方向の相違に着目して統一条件のもと検討された例は見当たらない。

そこで本報告では、シラン系表面含浸材を対象とし、塗布面の状態および塗布方向の相違が表面保護効果に及ぼす影響について明らかにすることを目的とした。

ここでは、JSCE-K571-2004²⁾に基づいて作製したモルタル供試体を用いて、実施工におけるせき板と接触する面への適用を想定した、塗装合板接触面、普通合板接触面、鋼製型枠接触面、均し面および切断面を対象とした表面保護効果について検討するとともに、壁面および床面への塗布を想定した鉛直方向および水平方向へ塗布した場合の表面保護効果について実験的に検討した結果を報告する。

2. 実験概要

2.1 シラン系表面含浸材の選定

使用したシラン系表面含浸材(以下、含浸材とする)の化学組成を Table 1 に示す。含浸材は、既報⁴⁾の研究で使用したものと同一であり、含浸材の温度 20℃における粘度が 5.8mPa・s である。

2.2 実験の要因と水準

実験の要因と水準を Table 2 に示す。塗布面の状態による相違を検討するため、塗装合板接触面、普通合板接触面および鋼製型枠接触面について JSCE-K571-2004²⁾ に定められた切断面の表面保護効果との比較検討を行った。また、床面への塗布を考慮した均し面に加え、含浸材を塗布しない供試

Table 1 Characteristic of silane

Hydrophobic group	Methyl group
Functional group	Methoxy group

Table 2 Experimental factors and levels

Factor	Material and level
Surface condition	Prefinished plywood, Plywood for general use, Steel from, Leveling surface, Cut surface
Treatment surface	Vertical surface, Horizontal surface
W/C(%)	50, 60, 70

Table 3 Materials used in mortar

Material	Substance	Specification
Water (W)	City water	—
Cement (C)	Ordinary Portland cement	Density : 3.16g/cm ³ Specific surface area : 3,170cm ² /g
Fine aggregate (S)	Pit sand	Air-dry density : 2.61g/cm ³ F.M. : 2.75 Water-absorption rate : 2.25%
Chemical admixture (Ad)	High-range air-entraining and water-reducing admixture (W/C 50%) Air-entraining and water-reducing admixture (W/C 60%, 70%)	Polycarbonate Lignin sulfonate and oxycarbonate

Table 4 Mix proportion of mortar

W/C (%)	Unit content (kg/m ³)			Ad (C×%)	Properties of fresh mortar	
	W	C	S		Air (%)	Mortar flow (mm)
50	265	530	1590	0.2	4.3	167
60	306	511	1270	0.2	3.9	183
70	339	485	1205	0.2	3.4	206

体についても検討を行った。

塗布方向による相違を検討するため、供試体の鉛直方向および水平方向について検討を行った。

ここでは、塗布面の状態の相違による影響を防ぐため、塗布面を鋼製型枠接触面の一種とした。

2.3 モルタル供試体の概要

本報告では JSCE-K571-2004²⁾ に準拠した、モルタル供試体(以下、供試体とする)を用いた。モルタルの使用材料を Table 3、モルタルの調合およびフレッシュモルタルの性状を Table 4 に示す。モルタルの調合は、質量比でセメント 1 : 細骨材 3 とし、水セメント比を 50, 60 および 70%の 3 水準とした。

塗布面の状態の検討で用いたせき板の種類は Table 2 に示すとおりである。均し面は、打込み時およびブリーディングが終了した後に金ごてを用いて供試体の上面を均した。切断面は、後述するようにコンクリート切断機によって切断した面とした。また、含浸材の塗布は水平方向に行った。

塗布方向の検討に用いた供試体の概要を Fig.1 に示す。鉛直方向の供試体(以下、鉛直供試体)は鋼製型枠を鉛直方向に立て、モルタルを打込み作製

した。その後の脱型、養生および含浸材の塗布においても鉛直方向に立てた状態を保持した。含浸材の塗布に際しては、鉛直供試体下端における含浸材の液溜まりを防ぐため、スペーサを敷設した。

いずれの実験とも $100 \times 100 \times 400 \text{ mm}$ の寸法の型枠へモルタルの打込み後、1 日後型枠の脱型を行い、その後 6 日間水中養生とした。また、水中養生後 100 mm 角にコンクリート切断機を用いて切断した。含浸材は、刷毛を用いた塗布量 250 g/m^2 の一度塗りとし、既報⁴⁾の研究において含浸材の定着時間が 3 日であることに基づき、含浸材の塗布前後 3 日間、合計 6 日において供試体を温度 $20 \pm 2^\circ \text{C}$ および相対湿度 $60 \pm 5\%$ の環境に静置した。

2.4 試験項目および方法

試験項目および試験方法を Table 5 に示す。試験項目は、供試体の表面粗さ、鉛直供試体における液だれ量および JSCE-K 571-2004²⁾ に準拠した含浸深さ試験、透水量試験および塩化物イオン浸透に対する抵抗性試験とした。供試体の表面粗さは K 社製 (LK-G) レーザ変位計を用いて測定し、粗さを JIS B0601 による算術平均粗さにより評価した。液だれ量は、鉛直供試体に含浸材を塗布した際に十分に供試体に浸透せず供試体下端より垂れる含浸材の質量を計測した。

3. 結果および考察

3.1 供試体の表面粗さ

塗布面の状態と算術平均粗さの関係を Fig.2 に示す。供試体の表面粗さは、普通合板および切断面が同程度に最も大きく、次いで均し面であり、鋼製型枠と塗装合板は小さくなった。これは、せき板表面の粗さが供試体の表面に転写されたためと考えられる。均し面においては、ブリーディングが終了した後、供試体の表面を再度均したことにより、供試体の表面が平滑となった影響、また、切断面については、コンクリート切断機の刃による凹凸の影響とそれぞれ考えられる。

通常、表面粗さが大きいほど表面積が増え、含浸材や水が含浸しやすくなると考えられる。

3.2 含浸材の液だれ

含浸材を鉛直方向へ塗布する場合、塗布した後

Table 5 Testing items and standards

Testing item	Testing standard	Study time (day)
Surface coarseness	Surface roughness was measured by laser displacement gauge of K company (LK-G), it was evaluated by arithmetic average roughness of JIS B0601.	—
Quantity of dripping	Dripping silane measured mass of lower section of vertical specimen	—
Penetrating depth	JSCE-K571-2004	—
Water permeability		7
Chloride-ion penetration		28

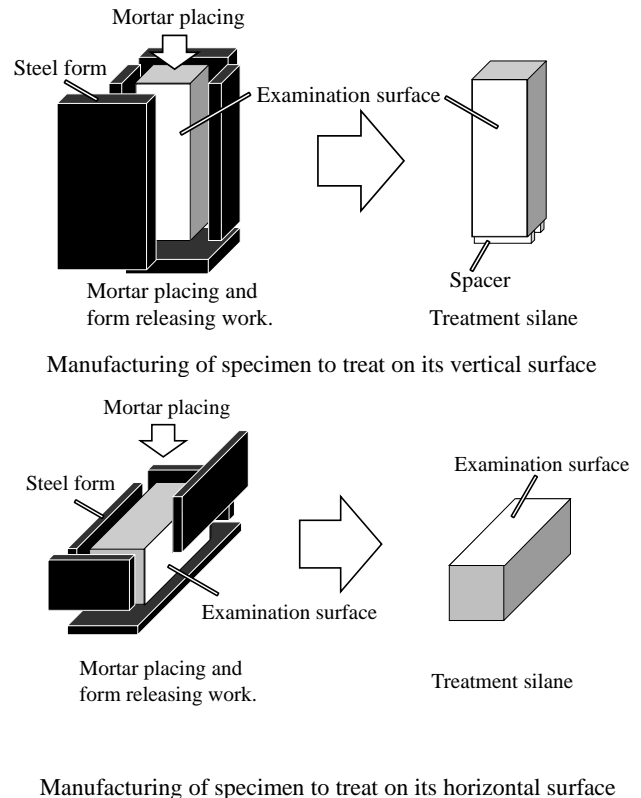


Fig.1 Manufacturing of treatment specimen

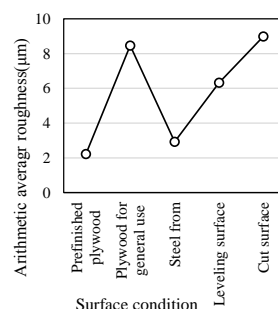


Fig.2 Relation between surface property and arithmetic average roughness

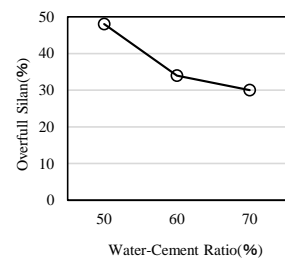


Fig.3 Relation between water-cement ratio and overflowed silane

に下方に垂れていくことが確認できる。そのため、鉛直供試体の下端から垂れる液だれ量を計測した。また、液だれ量の評価は、液だれしない場合を想定して定めた塗布量の 250 g/m^2 に対する比とした。

水セメント比と液だれ量の関係を Fig.3 に示す。

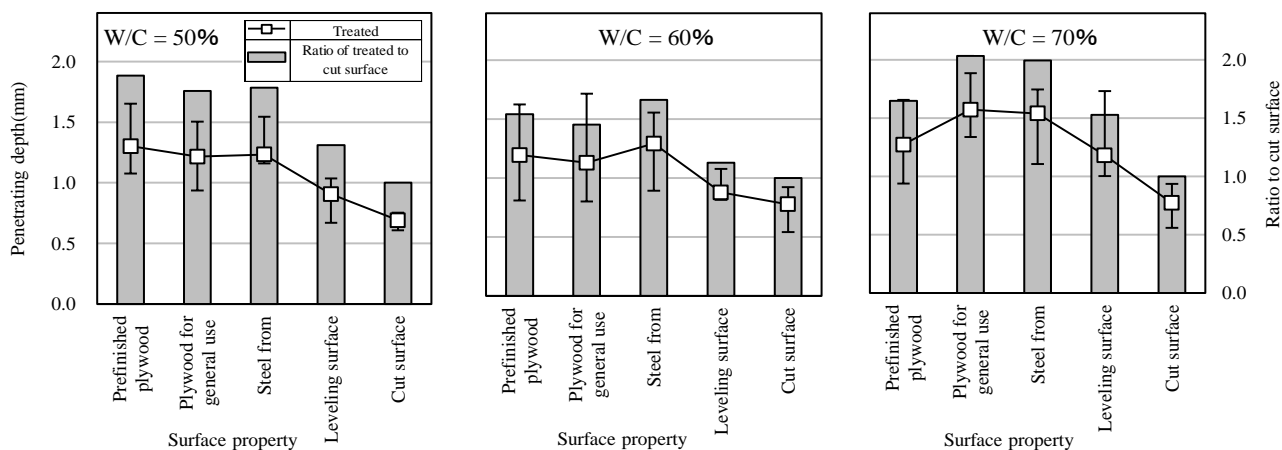


Fig.4 Relation between surface property and penetrating depth

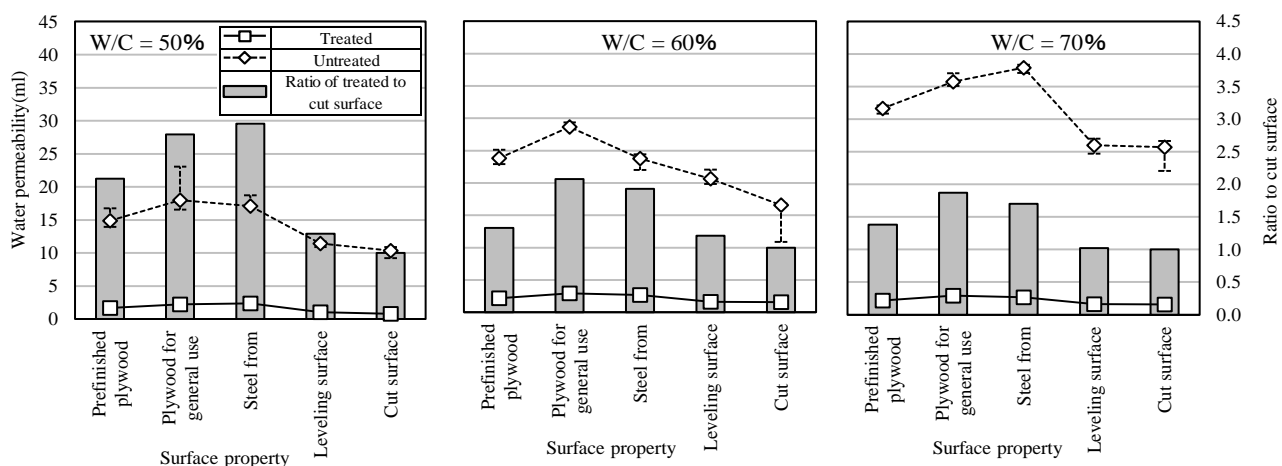


Fig.5 Relation between surface property and water-permeability

水セメント比が大きくなるに従い、液だれ量は少なくなる傾向を示した。これは、水セメント比が大きくなる程、細孔径が大きくなることで含浸材はより多く浸透し、液だれが少なくなったためと思われる。

3.3 塗布面の状態による影響

3.3.1 含浸深さおよび透水量 塗布面の状態と含浸深さの関係を Fig.4 に示す。なお、以降において含浸材を塗布した供試体を塗布供試体、塗布しない供試体を無塗布供試体と称する。

切断面は、水セメント比によらずほぼ一定であった。均し面は切断面と比較してやや深くなり、水セメント比が大きくなるにつれ、概ね深くなる傾向を示した。3種のせき板の接触面にはばらつきがあるが、切断面および均し面よりさらに深くなり、水セメント比が大きくなるにつれ、同様に概ね深くなる傾向を示した。

塗布面の状態と透水量の関係を Fig.5 に示す。水セメント比が大きくなるほど、無塗布供試体の透

水量が大きくなる傾向を示した。一方、塗布供試体では、いずれの塗布面の状態および水セメント比においても、無塗布供試体と比較し約 1/10 の透水量となり、無塗布供試体での塗布面の状態の差が、塗布後もそのまま反映されていることが分かる。その結果、塗布供試体の含浸深さと無塗布供試体の透水量は概ね同様の傾向を示した。すなわち、含浸深さが深いほど、透水量が大きくなる傾向を示した。これらの関係は、水セメント比が大きくなるほど含浸深さが深くなり、かつ透水量が多くなる傾向に似ている。この理由は、水セメント比が大きくなるにつれ、表面の細孔径が大きくなり、水や含浸材がより深く含浸するためと考えられる。

このことから、同じ塗布面の状態および水セメント比の供試体での含浸深さと透水量の関係から、切断面が最も表面の細孔径が小さく、次に均し面が小さく、最も大きいのは 3 種のせき板接触面であり、概ね普通合板接触面および鋼製型枠接触面の細孔径が大きく、塗装合板接触面の細孔径がそ

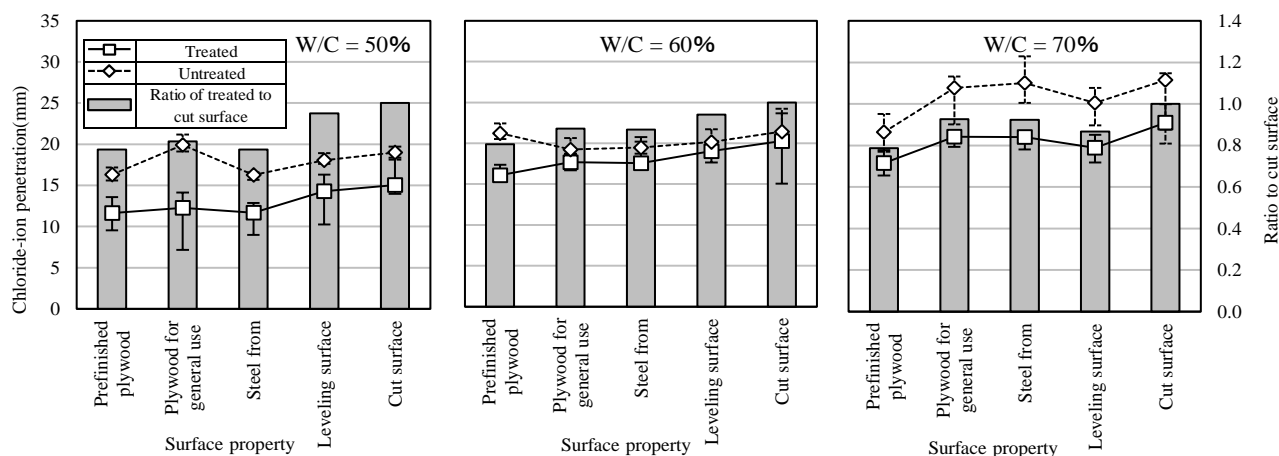


Fig.6 Relation between surface property and chloride-ion penetration

れよりやや小さいと考えられる。このように、塗布面の状態によって差異が生じる理由として、供試体の表面粗さ、あるいはせき板の接触面および均し面での細孔径の相違が影響を及ぼしたものと考えられる。

ところで、透水量試験における供試体の表面積は $10,000\text{mm}^2$ ($100\text{mm} \times 100\text{mm}$) であり、無塗布供試体の透水量は水セメント比 70%における最も多い場合で 40ml 前後である。これは、表面の空隙を 100%と仮定し、供試体の全面で均一に浸透した場合、4mm の浸透深さに相当する。実際にはセメントおよび砂が 85%前後あり、空隙内に水も存在していることを考慮しても、40ml 前後の透水量では表面より 40mm 程度、深くても 50mm 程度の浸透深さと考えられる。当初は、塗布面の状態に基づく供試体の表面粗さが主要な要因の一つであると考えられた。しかし、Fig.2, Fig.4 および Fig.5 に示すように含浸深さ試験および透水量試験の結果と、供試体の表面粗さとの間には相関関係が見られない。このことより、モルタル打込み後の表面より 50mm 程度の領域での細孔径の変化が、含浸深さと透水量に影響を及ぼすものと考えられる。

切断面と比較し他の 4 種は、型枠の脱型後 6 日間水中養生されているため、この間に水と接している表層より、まだ十分に硬化していないカルシウムのセメントペースト内の水溶性物質が一部溶脱し、その分表面の細孔径が大きくなった可能性が考えられる。

均し面は 1 日間の気中養生時、ブリーディング水の水みちが発生する一方、2 度に渡り供試体の表

面を金ごてを用いて均していることで、表面が緻密化された可能性があり、含浸深さ試験および透水量試験の結果から、切断面に近い細孔径となったものと考えられる。一方、せき板の接触面は 3 種でばらつきがあるが、切断面と均し面より透水量が多い。これも水中養生中の水溶性物質の溶脱と関係あるものと考えられる。

湯浅らの検討⁵⁾では、コンクリートの表層ほど内部と比較し乾燥の影響を受けやすく、その結果含水率が低くなり、細孔径が大きくなることが示されている。これは材齢 28 日時点で水セメント比によらず、概ね乾燥面から 50mm まで見られるとしている。このことから、脱型後の養生および乾燥過程で生じた概ね 50mm の深さまでの細孔径を有した無塗布供試体の含浸深さおよび塗布供試体の透水量が、同様な傾向を示したと考えられる。

せき板の接触面による相違に関しては、せき板とモルタルの界面の状態によって表層部の細孔構造の形成に相違が生じるものと想像するが、明確でなく今後の検討課題とする。

3.1.2 塩化物イオン浸透深さ 塗布面の状態と塩化物イオン浸透深さの関係を Fig.6 に示す。含浸深さ試験および透水量試験の結果と同様に、水セメント比が大きくなるに従い、塩化物イオン浸透深さが深くなる傾向を示した。

塩化物イオン浸透深さは最大(水セメント比 70%)でも 30mm 以内であり、湯浅ら⁵⁾が示した乾燥時、細孔径が大きいまま残存する範囲である深さ 50mm の領域内である。このため、型枠の脱型後の養生および乾燥過程で生じた細孔径の変化が影

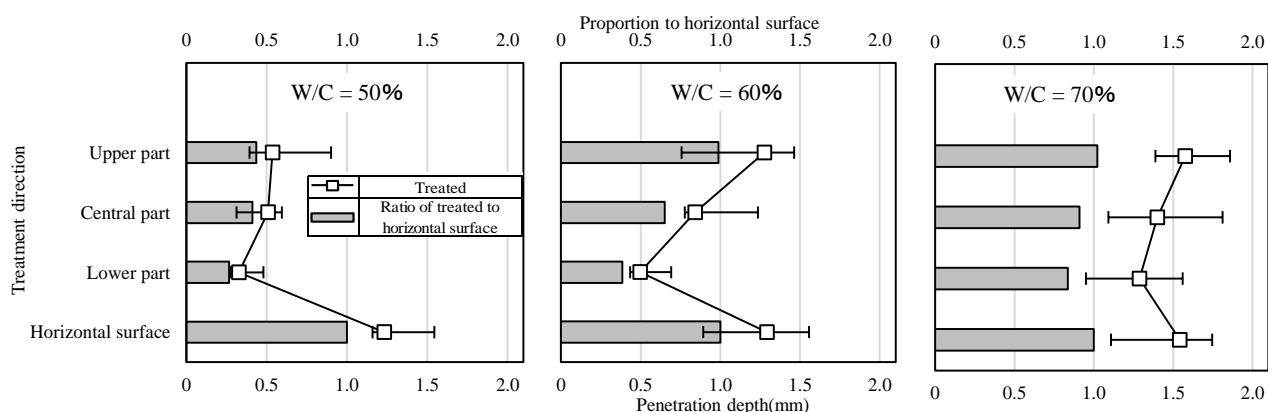


Fig.7 Relation between treatment direction of vertical surface and penetrating depth

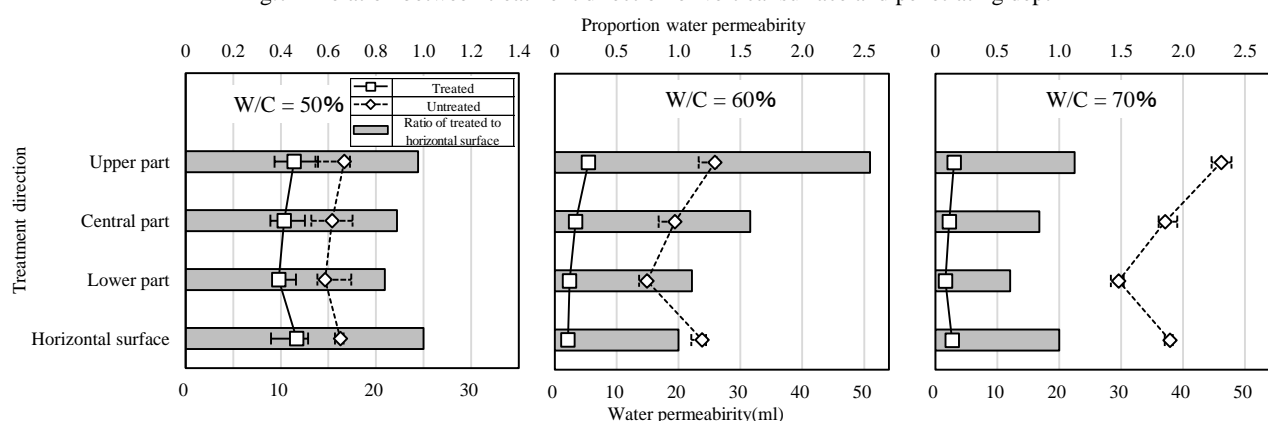


Fig.8 Relation between treatment direction of vertical surface and water permeability

響しているものと考えられる。しかし、実際の試験期間は 28 日と長いため、透水量試験と比較し、塩化物イオン水が深さ 50mm 程度までの比較的細孔径が大きい範囲にまで浸透してきたが、この付近から乾燥時の水分蒸発の影響を受け難い領域となるため、比較的細孔径が小さくなり、水等の浸透がし難くなったため、結果的に各塗布面での浸透深さに大きな差が出なかったものと考えられる。

塗布供試体の塩化物イオン浸透深さも同様に、無塗布供試体と同様な傾向を示した。一方、塗布供試体と無塗布供試体との差は小さくなっていた。この理由については、試験期間が 28 日と長いため、供試体は長時間塩化物イオン水の浸透が持続することになる。しかし、浸透深さが 50mm 付近に近づくと、含水率の高い領域に近づくため、それ以上の浸透が抑えられ浸透速度が遅くなる。そのため、塗布供試体と無塗布供試体の浸透深さが近くなったと考えられる。

3.4 塗布方向による影響

3.4.1 含浸深さ 塗布方向と含浸深さの関係を Fig.7 に示す。含浸深さは、水セメント比が大きく

なるほど深くなり、塗布方向では下方ほど浅くなる傾向を示した。Fig.3 に示す水セメント比と液だれ量の関係から、塗布方向では下方ほど深く浸透すると考えられたが、上方が深く浸透する傾向を示した。

胡桃澤らの検討⁶⁾では、モルタルの上方ほど下方と比較し、細孔径が大きくなることが示されている。このことと同様に、鉛直供試体の下方の細孔径が小さいため、含浸しづらくなったものと考えられる。

水セメント比 50%で水平方向と比較し、上方が浅くなった理由は、液だれによる含浸材量が少なくなったことも一因であると考えられる。

3.4.2 透水量 塗布方向と透水量の関係を Fig.8 に示す。無塗布供試体の透水量は、水セメント比が大きくなるほど、また上方に向かうほど多くなる傾向を示した。これも、前述したように、細孔径の影響によると考えられる。上方へ向かうほど透水量が多くなる理由は、前述したように、モルタルの上方ほど下方と比較し、細孔径が大きいことにより、上方が下方に比べ透水し易くなったものと考

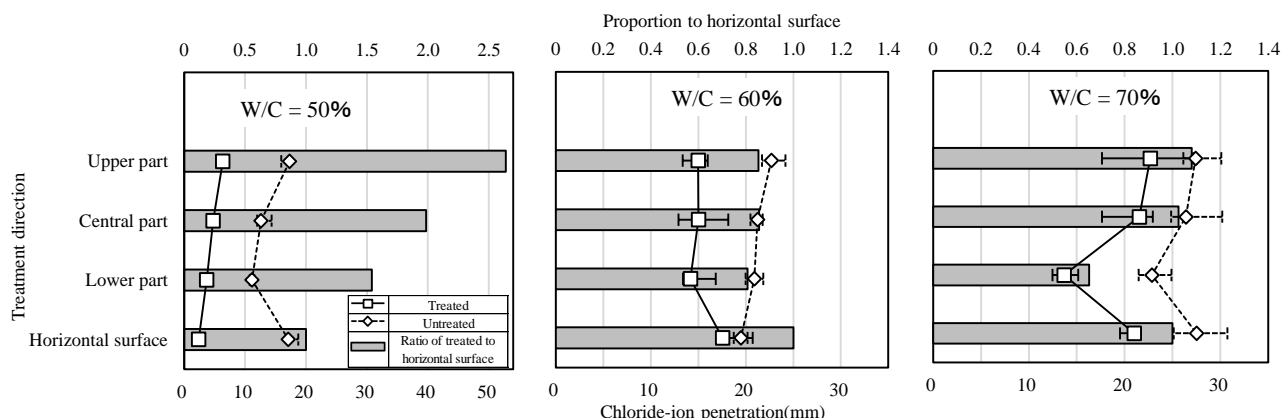


Fig.9 Relation between treatment direction of vertical surface and chloride-ion penetration

えられる。鉛直方向の上方と水平方向を比較した場合、水セメント比 50%ではほぼ同じ値となり、水セメント比が大きくなるに伴い鉛直方向の上方の値が大きくなる傾向を示した。同様に、塗布部が下方になるにつれ、細孔径が小さくなり、透水量が少なくなったと考えられる。

塗布供試体の透水量は、無塗布供試体の細孔径を反映していると考えられ、概ね同様な傾向を示した。しかし、水平方向での透水量は比較的少なかった。これは、水平方向へ含浸材を塗布する場合、液だれがほとんどなく、含浸材がより多く浸透したためと考えられる。

3.4.3 塩化物イオン浸透深さ 塗布方向と塩化物イオン浸透深さの関係を Fig.9 に示す。無塗布供試体および塗布供試体において、透水量と同様に、水セメント比が大きくなるにつれ、浸透深さは深くなり、また下方に向かうにつれ浅くなる傾向を示した。この場合も同様に、含浸深さは最大（水セメント比 70%、鉛直方向上方）でも 30mm 以下であることから、前述した湯浅らの検討⁵⁾により乾燥時に細孔径が大きいまま残存したと考えられ、浸透深さが変化する理由も、3.3 塗布面の状態が及ぼす影響の節と同様と考えられる。

4. まとめ

本報では、シラン系表面含浸材の表面保護効果におよぼす塗布面の状態および塗布方向の影響について検討を行った。その結果、得られた知見を以下に示す。

4.1 塗布面の状態の影響

- (1) 塗布面の状態をせき板の接触面 3 種（鋼製型枠接触面、塗装合板接触面および普通合板接触面）、均し面および切断面で比較した場合、せき板の接触面 3 種の比較では、普通合板接触面および鋼製型枠接触面の透水量が多く、塗装合板面がやや少ない傾向を示した。均し面は更に透水量が少なく、切断面が最小となる傾向を示した。塩化物イオン浸透深さにおいても、せき板の接触面 3 種では同様の傾向を示した。
- (2) 含浸深さ、透水量および塩化物イオン浸透深さと供試体の表面粗さの間には相関関係が見られなかった。
- (3) 切断面の含浸深さおよび透水量が他の供試体と比べ、最小となった。しかし、塩化物イオン浸透深さにおいて他の供試体と比べ大きくなった。これは、試験期間が 28 日と長いことによる含浸材の硬化などが影響したと考えられるが、現状不明であり今後さらに検討する必要がある。

4.2 塗布方向の影響

- (1) 鉛直方向の下方ほど含浸深さが浅く、透水量が少なく、塩化物イオン浸透深さが浅くなる傾向を示した。これは、下方ほどモルタルが密実になり細孔径が小さくなるのが原因と考えられる。
- (2) 鉛直供試体の液だれ量は最大で約 50%と多く、液だれ量が表面保護効果に及ぼす影響は無視できないため、水平方向と同様の評価手法は適切でないと考えられる。

本報告では、供試体表層の細孔径の相違による影響との仮説に基づいて考察したが、今後は、細孔径分布について計測を行い、塗布面の状態および塗布方向と細孔径の関係について検討を行う予定である。

謝辞

本実験に際して、ものづくり大学技能工芸学部建設学科大塚研究室の学生より多大な助力を得た。ここに記して謝意を表する。

文献

- 1) 土木学会：コンクリートの表面被覆および表面改質技術研究小委員会報告，pp.4-8，2006
- 2) 土木学会：表面保護工法設計施工指針（案），表面含浸材の試験方法（案），pp.55-67，2006
- 3) 例えば，今野拓也，細田暁ほか：コンクリートの養生条件・材齢が表面含浸材の吸水抑止効果に及ぼす影響，コンクリート工学年次論文集，Vol.29，No.2，pp.541-546，2007
- 4) 降旗翔，大塚秀三ほか：シラン系表面含浸材の定着時間に及ぼす温度の影響に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.36，No.1，pp.1930-1935，2014
- 5) 湯浅昇，笠井芳夫ほか：乾燥を受けたコンクリートの表層から内部にわたる含水率，細孔構造の不均質性，日本建築学会構造系論文集，第509号，pp.9-16，1998.7
- 6) 胡桃澤清文，田中享二：セメントペーストの打ち込み高さごとの空隙構造の違い，コンクリート工学年次論文集，Vol.23，No.2，pp.781-786，2001